第 37 卷第 24 期 生 态 学 报 Vol.37,No.24
2017 年 12 月 ACTA ECOLOGICA SINICA Dec.,2017

DOI: 10.5846/stxb201612042489
赵志刚,余德,韩成云,王凯荣.鄱阳湖生态经济区生态系统服务价值预测与驱动力.生态学报,2017,37(24):8411-8421.
Zhao Z G, Yu D, Han C Y, Wang K R.Ecosystem services value prediction and driving forces in the Poyang Lake Eco-economic Zone.Acta Ecologica Sinica,2017,37(24):8411-8421.

鄱阳湖生态经济区生态系统服务价值预测与驱动力

赵志刚[1,2],余 德[3],韩成云[1],王凯荣[4,*]

1 宜春学院,宜春 336000
2 中国科学院亚热带农业生态研究所,长沙 410125
3 湖南农业大学资源环境学院,长沙 410128
4 青岛农业大学青岛市农村环境工程研究中心,青岛 266109

摘要:鄱阳湖生态经济区是我国第一个上升到国家战略的生态经济区。利用鄱阳湖生态经济区 2004、2008、2012、2016 年的 MODIS 数据,获得 4 个对应期的土地利用/覆盖数据,参照修订的单位面积生态系统服务价值当量表与灰色 GM(1,1)模型,预测了 2016—2024 年(间隔 2 a)的生态系统服务价值数据,并对引起生态服系统务价值变化的驱动力进行了分析。结果表明,鄱阳湖生态经济区在 2004—2016 年间,草地、建设用地和未利用地面积增加,耕地、林地、水域面积减少,但 2016—2024 年的预测值变化率仅为-0.17%,表明该研究区生态系统服务价值即将进入一个相对稳定的状态;驱动力分析表明,人为综合干扰在空间分布上以中等影响强度干扰为主,城镇化率是区域总生态系统服务价值降低的首要驱动力,其次分别为非农业人口、人口密度、第一产业 GDP、第二产业 GDP、固定资产投资额、总 GDP 及第三产业 GDP。建议加强土地利用规划与调控,控制城镇化建设用地扩展,调整产业结构、降低污染,促进鄱阳湖生态经济区总生态系统服务价值的提升。

关键词:生态系统服务价值;土地利用结构;灰色预测模型;驱动力;鄱阳湖生态经济区

Ecosystem services value prediction and driving forces in the Poyang Lake Eco-economic Zone

ZHAO Zhigang[1,2], YU De[3], HAN Chengyun[1], WANG Kairong[4,*]

1 *Yichun University*, *Yichun* 336000, *China*
2 *The Institute of Subtropical Agriculture*, *Chinese Academy of Sciences*, *Changsha* 410125, *China*
3 *College of Resources and Environment*, *Hunan Agricultural University*, *Changsha* 410128, *China*
4 *Qingdao Engineering Research Center for Rural Environment*, *Qingdao* 266109, *China*

Abstract: The Poyang Lake Eco-economic Zone is China's first ecological economic zone raised to the national strategy. Based on the MODIS data of 2004, 2008, 2012, and 2016 for the Poyang Lake Eco-economic Zone, the land use/cover of the four corresponding periods were obtained. Ecosystem services value data for 2-year intervals from 2016 to 2024 were predicted according to the revised table of ecosystem services equivalent values per unit area and the grey GM (1,1) model. The driving forces for the change in ecosystem services values were analyzed. The results revealed that from 2004 to 2016, the area of grassland, construction land and unused land increased; the outcome of arable land, forest land and water area turned out to be opposite. While with the ecosystem services value predictive change rate being only −0.17% from 2016 and 2024, it indicated that the regional ecosystem services value would be relatively stable. With reference to the analysis of driving forces, we found that human activities interference remained moderate level in spatial distribution. The urbanization

基金项目:江西省高校人文社会科学研究项目(JC1452);江西省普通高校中青年教师发展计划(2013 年国内访问学者项目)
收稿日期:2016-12-04;   **网络出版日期**:2017-08-15
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: krwang1@163.com

rate was the first driving force that decreased regional total ecosystem services values, followed by the non-agricultural population, population density, the primary industry GDP, the secondary industry GDP, fixed assets investment, total GDP, and the tertiary industry GDP. Strengthening on land use planning and regulation, the expansion of urban construction land control, the industrial structure adjustment, and pollution reduction will promote the improvement in total ecosystem services values of the Poyang Lake Eco-economic Zone.

Key Words: ecosystem services value; land use structure; gray forecast model; driving force; Poyang Lake Eco-economic Zone

生态系统服务是指自然或人工生态系统通过其结构、过程和功能直接或间接为人类提供生命支持产品与服务,满足人类生存、生活和健康等多种需求。一般学者利用货币形式估算生态系统提供的产品与服务的潜在价值,即生态系统服务价值[1]。生态系统服务价值是衡量一个地区能否实现可持续发展的核心指标[2-5]。土地是构成生态系统的基本要素,土地利用/覆被变化对区域生态系统服务功能和价值产生决定性影响[6],通过土地利用变化来定量评估区域生态系统服务功能和价值已成为生态学研究的热点之一[7]。目前,生态系统服务功能与价值评估大多基于一段时期的观测或统计数据进行静态评价,而对生态系统服务功能与价值的动态预测及其驱动因素的研究较少。由于生态系统服务功能与价值受到自然与社会经济等诸多因素变化的影响[8],驱动因素之间又存在错综复杂的联系,因此,研究区域生态系统服务功能与价值演变规律及其驱动力具有重要的科学意义。

鄱阳湖生态经济区是 2009 年经国家批准启动,第一个上升为国家战略的生态经济区[9],已经成为中部地区重要的经济增长极。鄱阳湖生态经济区还是中国重要的生态功能保护区,是世界自然基金会划定的全球重要生态区,承担着调洪蓄水、调节气候、降解污染等多种生态功能。本文以鄱阳湖生态经济区为研究对象,基于 2004—2016 年(发展前期)的土地利用/覆被变化数据,借助灰色预测模型对该区域 2016—2024 年(发展中期)的生态系统服务价值进行预测,以期为鄱阳湖生态经济区的未来发展规划与可持续发展提供科学依据。

1 研究背景

鄱阳湖生态经济区地处长江中下游南岸、江西省北部,位于 114°28′28″—117°28′20″E,27°29′54″—30°04′50″N 之间,总面积 51081.6 km^2,以鄱阳湖为核心,由环鄱阳湖的市(区、县)组成,占江西全省国土面积的 30.7%。本文根据统计口径合并为 31 个县(市),其中滨湖区域包括九江市区、南昌县、新建县、进贤县、德安县、星子县、永修县、湖口县、鄱阳县、余干县、都昌县共 11 个县(市),外围区域包括南昌市区、景德镇市区、鹰潭市区、抚州市区、新余市区、武宁县、瑞昌市、九江县、万年县、安义县、丰城市、樟树市、高安市、东乡县、乐平市、浮梁县、贵溪市、余江县、新干县共 20 个县(市)(图 1)。2013 年底区域人口数为 2001.8 万,占江西省人口总数的 44.7%;GDP 为 8452.6 亿元,占江西省总量的 59.0%[10]。

从鄱阳湖生态经济区 1953—2013 年隔年降水与平均气温数据(http://data.cma.cn/site/index.html,以南昌和景德镇市域气象数据为代表)来看(图 2),近 60 年来,该区域降水量呈现下降趋势,下降率为 33.18 mm/10 a,而气温呈现上升趋势,上升率为 0.244℃/10 a,气候环境呈现明显的暖干化趋势[11],暖干化趋势的发展又进一步导致了水域面积下降,水源涵养功能降低等生态后果。

2 研究方法

2.1 数据来源与处理

由于研究区范围较大,TM/ETM+/OLI 数据介于条带号 120—122、行编号 39—41 之间,难以获取到研究区同一时期质量较好、可满足土地利用解译要求的影像。因此,本文土地利用/覆被分类为解译 2004105、2008113、2012113、2016033 的 4 期研究区的 MODIS 数据(https://ladsweb.nascom.nasa.gov)。为避免湖泊水面

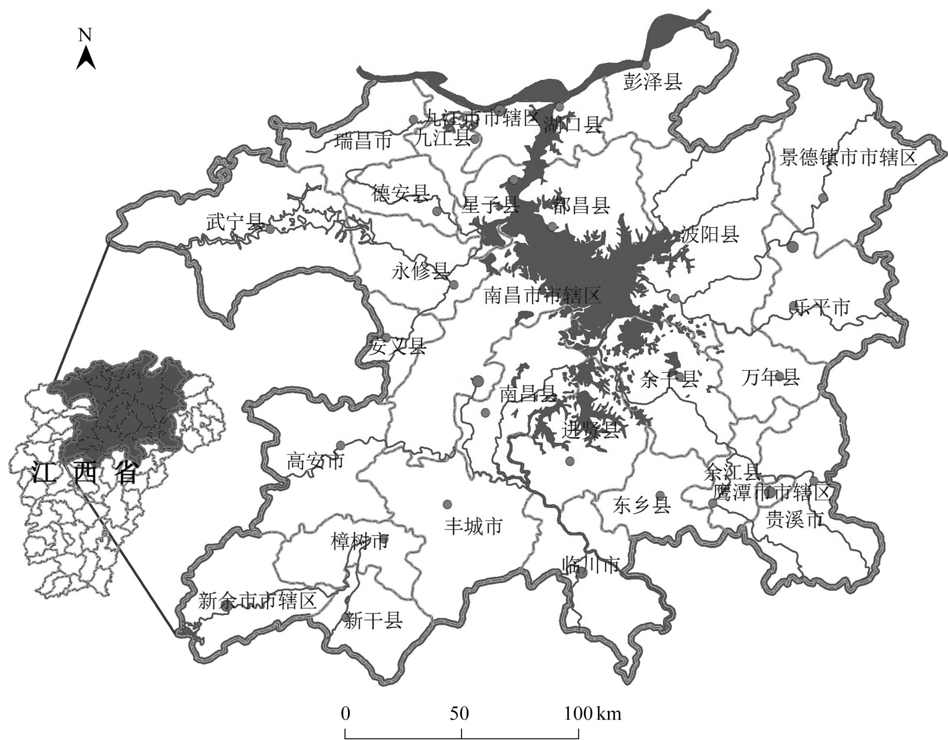


图 1　鄱阳湖生态经济区位置示意图

Fig.1　Location of the Poyang Lake Eco-economic Zone

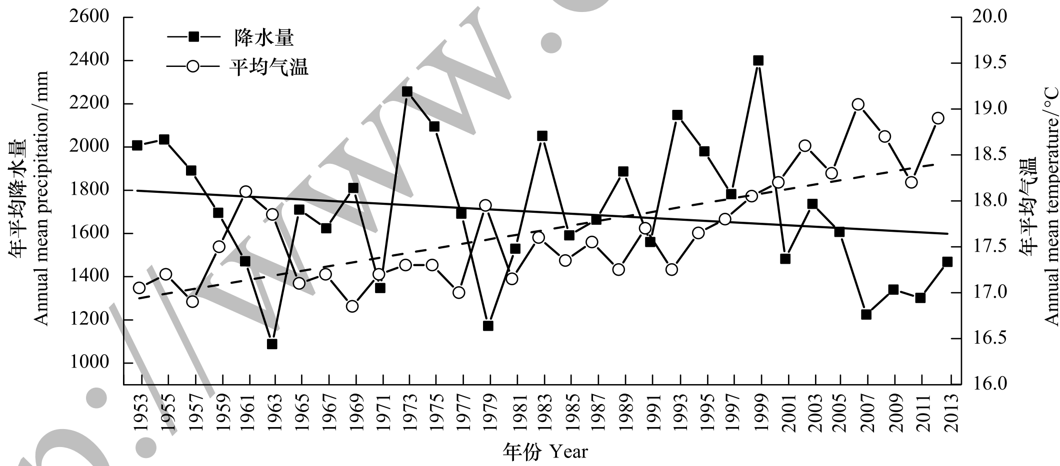


图 2　1953—2013 年鄱阳湖生态经济区气候变化特征

Fig.2　The characteristic of climate change in the Poyang Lake Eco-economic Zone from 1953 to 2013

季节性变化带来的干扰,选取的数据均为各研究年份 2—4 月间晴朗少云天气的影像数据。在数据处理方面,首先重新构建多源数据集,主要包含 MOD09A1(500 m 地表反射率 8 d 合成产品)、MOD09Q1(250 m 地表反射率 8 d 合成产品)、MOD13Q1(250 m 植被指数 16 d 合成产品)和 30 m×30 m 数字高程数据(DEM),使用 MODIS Reprojection Tool(MRT)软件重投影并将分辨率统一调整为 250 m。然后在 ENVI 5.2 中进行几何校正、裁剪等数据预处理。之后在数据集中选择训练样本感兴趣区(Region Of Interest,ROI)样本,采用基于 CART 算法的决策树分类方法获取分类规则,将研究区分为耕地、林地、草地、城乡建设用地、水域和未利用地 6 个类别(图 3),通过对研究区域分类图的统计得到 2004—2016 年 4 期土地利用面积,并计算出生态系统服务价值量(表 1)。分析真实 ROI 精度验证及实地精度验证结果表明,2004、2008、2012 和 2016 年总体分类精

度分别达96.7%、98.9%、94.1%和95.5%,Kappa系数分别为0.9572、0.9856、0.9327和0.9423,表明分类结果精度良好。社会经济数据来源于历年江西省统计年鉴和行业统计年鉴。

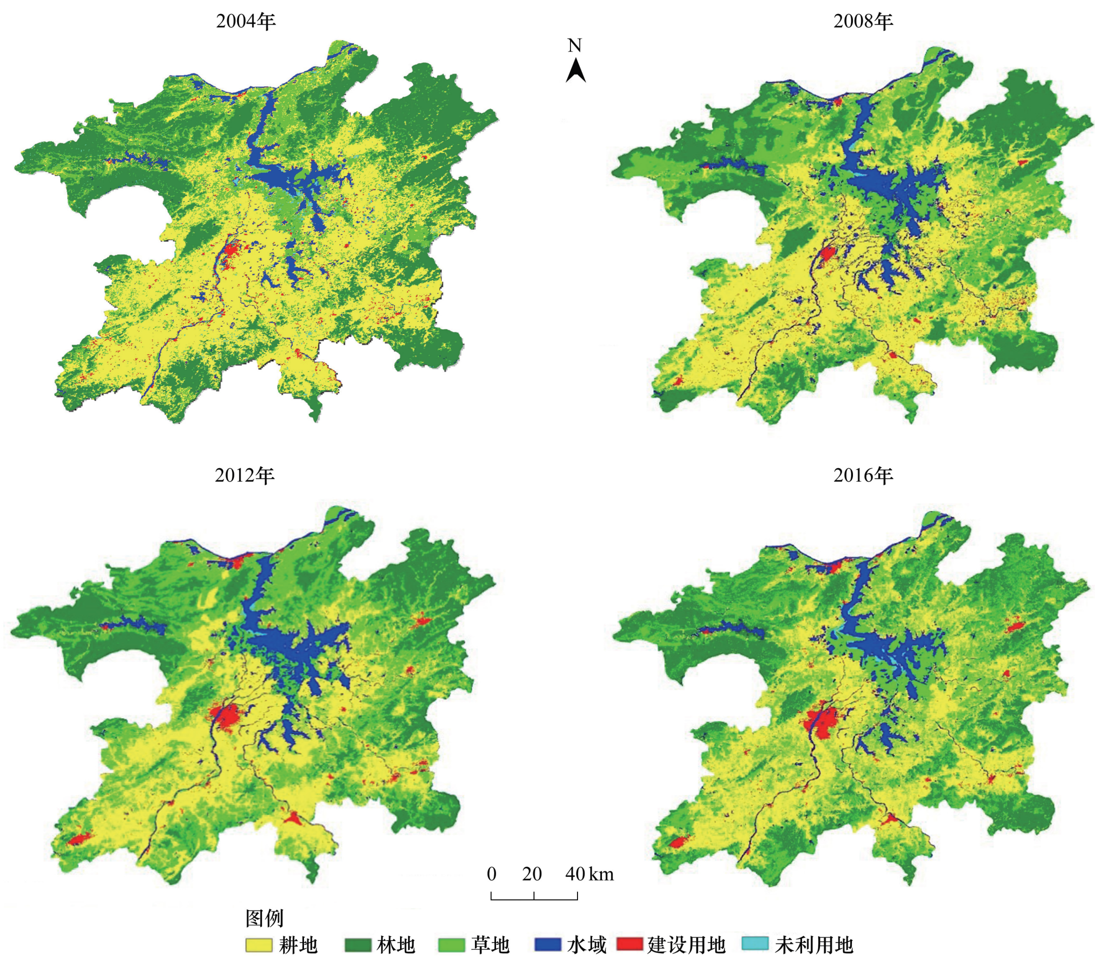


图3 2004—2016年鄱阳湖生态经济区土地利用分类图

Fig.3 Maps of land use classification in Poyang Lake Eco-economic Zone from 2004 to 2016

表1 2004—2016年鄱阳湖生态经济区土地利用结构与生态系统服务价值变化

Table 1 Land use structure and ecosystem services value changes in the Poyang Lake Eco-economic Zone from 2004 to 2016

统计类型 Statistics types		耕地 Arable land	林地 Forest land	草地 Grassland	水体 Water area	建设用地 Construction land	未利用地 Unused land	合计 Total
2004	面积 Area/($\times10^4$hm^2)	230.23	139.83	88.30	43.81	6.61	2.04	510.82
	价值 Value/($\times10^8$元)	108.73	216.98	62.45	89.22	0.10	0.13	477.61
2008	面积 Area/($\times10^4$hm^2)	227.25	132.93	99.74	41.69	7.71	1.50	510.82
	价值 Value/($\times10^8$元)	107.33	206.28	70.54	84.90	0.12	0.09	469.26
2012	面积 Area/($\times10^4$hm^2)	200.94	123.48	134.69	40.96	10.00	0.74	510.82
	价值 Value/($\times10^8$元)	94.90	191.61	95.26	83.42	0.15	0.05	465.39
2016	面积 Area/($\times10^4$hm^2)	204.02	130.86	129.05	32.59	12.05	2.24	510.82
	价值 Value/($\times10^8$元)	96.36	203.06	91.27	66.36	0.19	0.14	457.38

2.2　灰色预测模型 GM(1,1)

灰色预测模型(Grey Dynamic Model,GM)是将原始信息数据序列通过一定的数学方法处理后,将其转化为动态微分方程来描述原系统的内在特征,建立抽象系统的动态演变预测模型[12]。它对数据量较小且数据无明显变化规律、结构关系和运行机制不明晰的对象、过程系统进行预测分析具有独特的优势,预测计算过程简便且精度较高。考虑到生态系统服务价值变化有着模糊不确定特性,以及产业转型对生态系统服务价值变化的影响,变化预测是一个典型的灰色评价过程[13]。因此本研究采用灰色 GM(1,1)模型对鄱阳湖生态经济区 2016—2024 年(间隔 2 年)的生态系统服务价值进行预测,具体计算公式方法见文献[14]。

2.3　生态系统服务价值计算

以谢高地等[15-16]对中国陆地生态系统服务价值研究结果为基础,按照赵志刚[17]确定的 9 种陆地生态系统服务价值特征区域及各自区域的调节系数值,获得鄱阳湖生态经济区单位面积生态系统服务价值基础数据。生态系统服务价值评估方法参见文献[2]。

2.4　人为影响综合指数计算

采用人为影响综合指数来描述景观单元内受人类干扰的程度,具体公式为:

$$\mathrm{HAI} = \sum_{i=1}^{N} A_i S_i / TA$$

式中,HAI 代表人为影响综合指数;N 为研究区景观类型的数量;A_i 为第 i 种景观的面积;S_i 为第 i 种景观的人为影响强度系数;TA 为景观总面积。本文在参考相关研究成果[18]及询问相关学者专家的基础上确定人为影响强度系数 S_i(表 2)。

表 2　各土地类型人为影响强度系数

Table 2　Strength indices of human impact for different land types

土地类型 Land use types	耕地 Arable land	林地 Forest land	草地 Grassland	水域 Water area	建设用地 Construction land	未利用地 Unused land
人为影响强度系数(S_i) Strength indices of human impact	0.61	0.12	0.09	0.12	0.94	0.08

HAI 值在 0 到 1 之间变化,数值越大表示人类活动对景观组分干扰越大,反之表示人类干扰越小。在 ArcGIS 10.2 中进行聚类分析 Natural Breaks(Jenks),将人为影响综合指数(HAI)分为 5 类:高(HAI>0.80)、较高(0.60<HAI≤0.80)、中(0.40<HAI ≤0.60)、较低(0.20<HAI ≤0.40)和低(0<HAI≤0.20),并以此为基础分析鄱阳湖生态经济区 2004—2016 年人为干扰强度的空间变化。

3　结果与分析

3.1　鄱阳湖生态经济区生态系统服务价值预测

3.1.1　生态系统服务价值预测模型

利用研究区域 4 个时期的土地利用/覆被数据线性内插得到 2004—2016 年各年份土地利用结构数据。利用间隔为 2 a 的土地利用结构数据及 DPS 7.05 软件,构建各土地类型的灰色 GM(1,1)模型,得到鄱阳湖生态经济区 2018、2020、2022 和 2024 年土地利用结构预测数据,并对灰色 GM(1,1)预测模型进行精度评定(表 3)。模型预测精度等级评定标准为 4 级,当 C<0.35 且 P≥0.95 时,模型精度为一级(很好);C<0.50 且 P≥0.80时,模型精度为二级(好);C<0.65 且 P≥0.70 时,模型精度为三级(一般);C≥0.65 且 P≤0.70 时,模型精度为四级(不合格)。从表 3 结果可知,该模型预测精度较好,预测值具有较高可信度。在模型预测结果的基础上,结合江西省“耕地占补平衡”、“退耕还林”等土地利用政策,对土地预测结果进行适当修正,根据生态系统服务价值基础数据计算出不同土地类型生态系统服务价值预测值。

表 3 2016—2024 年鄱阳湖生态经济区不同类型土地的预测模型

Table 3 Grey dynamic model for various land use types in the Poyang Lake Eco-economic Zone from 2016 to 2024

类型 Land use types	灰色预测模型 $Y_{(t)}$ Grey dynamic model $Y_{(t)}$	模型检验 Model verification	平均误差值 Mean error/%
耕地 Arable land	$Y=-1681618.873668e^{-0.013297t}+1704641.5(t=1,2\cdots\cdots n)$	很好	-0.06
林地 Forest land	$Y=-11288144.299197e^{-0.001170t}+11303127.5(t=1,2\cdots\cdots n)$	好	-0.12
草地 Grassland	$Y=440527.742687e^{0.024120t}-432697.9(t=1,2\cdots\cdots n)$	一般	-1.13
水域 Water area	$Y=-114860.641695e^{-0.038450t}+119241.4(t=1,2\cdots\cdots n)$	很好	-0.14
建设用地 Construction land	$Y=6649.462037e^{0.102841t}-5988.3(t=1,2\cdots\cdots n)$	很好	-0.04
未利用地 Unused land	$Y=-6872.485853e^{-0.022485t}+7076.6(t=1,2\cdots\cdots n)$	一般	-1.21

3.1.2 生态系统服务功能与价值预测

鄱阳湖生态经济区 2016—2024 年各土地类型生态系统服务价值预测数据见表 4。可以看出,鄱阳湖生态经济区生态系统服务价值的总值变化不大,变化率仅为-0.15%。其中林地生态系统服务价值增加 5.00 亿元;草地、耕地和水域的生态系统服务价值分别减少 2.31、1.92 亿元和 1.49 亿元;建设用地和未利用地生态系统服务价值基本保持稳定。从研究区预测总价值的变化趋势可以看出,鄱阳湖生态经济区生态环境质量在未来 8 a 内表现为先下降后提升的趋势,产生这一趋势的原因可能是随着生态经济区的建设与发展,城镇化人口增长将趋于稳定,生态保护政策的作用显现,人为干扰程度降低,导致整体区域生态价值保持相对稳定。

表 4 鄱阳湖生态经济区 2016—2024 年各土地类型生态系统服务价值变化

Table 4 Changes of ESV and total value of various land types in the Poyang Lake Eco-economic Zone from 2016 to 2024

类型 Land use types	生态系统服务价值 Ecosystem services value /10^8 元					变化值 Value changes	变化率 Rate of changes/%
	2016	2018	2020	2022	2024		
耕地 Arable land	96.36	98.33	97.02	95.72	94.44	-1.92	-1.99
林地 Forest land	203.06	202.36	204.25	206.15	208.06	5.00	2.46
草地 Grassland	91.27	88.08	87.89	88.48	88.96	-2.31	-2.53
水域 Water area	66.36	67.22	67.04	66.94	64.87	-1.49	-2.25
建设用地 Construction land	0.19	0.21	0.23	0.25	0.28	0.09	50.41
未利用地 Unused land	0.14	0.08	0.11	0.06	0.06	-0.08	-55.33
合计 Total	457.38	456.28	456.53	457.59	456.68	-0.70	-0.15

对鄱阳湖生态经济区不同生态系统服务功能的价值计算结果(表 5)表明,气体调节、原材料生产、娱乐文化及气候调节服务功能呈增强趋势,价值增加比率分别为 0.97%、0.90%、0.62%和 0.17%。价值下降比率超过 1.00%的生态服务功能为废物处理(-1.26%)和食物生产(-1.03%)。各项生态服务功能平均价值大小顺序为:水源涵养>土壤保持>生物多样性保护>废物处理>气候调节>气体调节>娱乐文化>食物生产>原材料生产。从生态系统服务功能及价值构成上分析,水源涵养是鄱阳湖生态经济区的主导生态系统服务功能,此项功能的价值比占 20%以上,这主要因为研究区域是我国重要的湿地保护区,水网、水库、湖泊密集,因此水源涵养生态服务功能表现最强。其次为土壤保持服务功能,其价值占比超过 18%。此外,生物多样性保护、废物处理、气候调节和气体调节等服务功能价值也都超过了 10%。

3.2 鄱阳湖生态经济区生态系统服务价值驱动力

研究表明,人为干扰及社会经济等因素会导致区域土地利用结构变化,并进一步影响生态系统的服务功能[19]。本研究从人为干扰及社会经济因素等方面分析了生态系统服务价值变化的驱动力。

3.2.1 人为影响因素驱动力

为深入分析人为影响因素对研究区生态系统服务价值变化的影响,本文将研究区划分为若干个 1 km×1 km 的景观单元,分别计算各景观单元的人为影响综合指数(HAI),并将综合指数值作为各景观单元中心点的值,采用 Kriging 空间插值得到 2004、2008、2012 和 2016 年 4 期人为干扰程度的空间分布图(图 4)。

表 5　鄱阳湖生态经济区 2016—2024 年不同生态系统服务功能的价值变化

Table 5　The value changes of ecosystem services function in the Poyang Lake Eco-economic Zone from 2016 to 2024

项目 Item	生态服务功能价值 Ecological services value/× 10^8元					排序(趋势) Ranking(trend)
	2016	2018	2020	2022	2024	
食物生产 Food production	19.39	19.53	19.38	19.31	19.19	8(↓)
原材料生产 Raw material production	17.79	17.77	17.83	17.90	17.95	9(↑)
气体调节 Gas regulation	51.56	51.30	51.51	51.80	52.06	6(↑)
气候调节 Climate regulation	53.58	53.28	53.37	53.57	53.67	5(↑)
水源涵养 Water conservation	92.55	92.56	92.55	92.84	92.12	1(↓)
废物处理 Waste disposal	54.82	54.98	54.85	54.82	54.13	4(↓)
土壤保持 Erosion control	82.45	82.19	82.08	82.14	82.17	2(↓)
生物多样性保护 Biodiversity conservation	59.56	59.22	59.23	59.56	59.54	3(↓)
娱乐文化 Entertainment	25.68	25.44	25.74	25.66	25.84	7(↑)
合计 Total	457.38	456.28	456.54	457.59	456.67	—

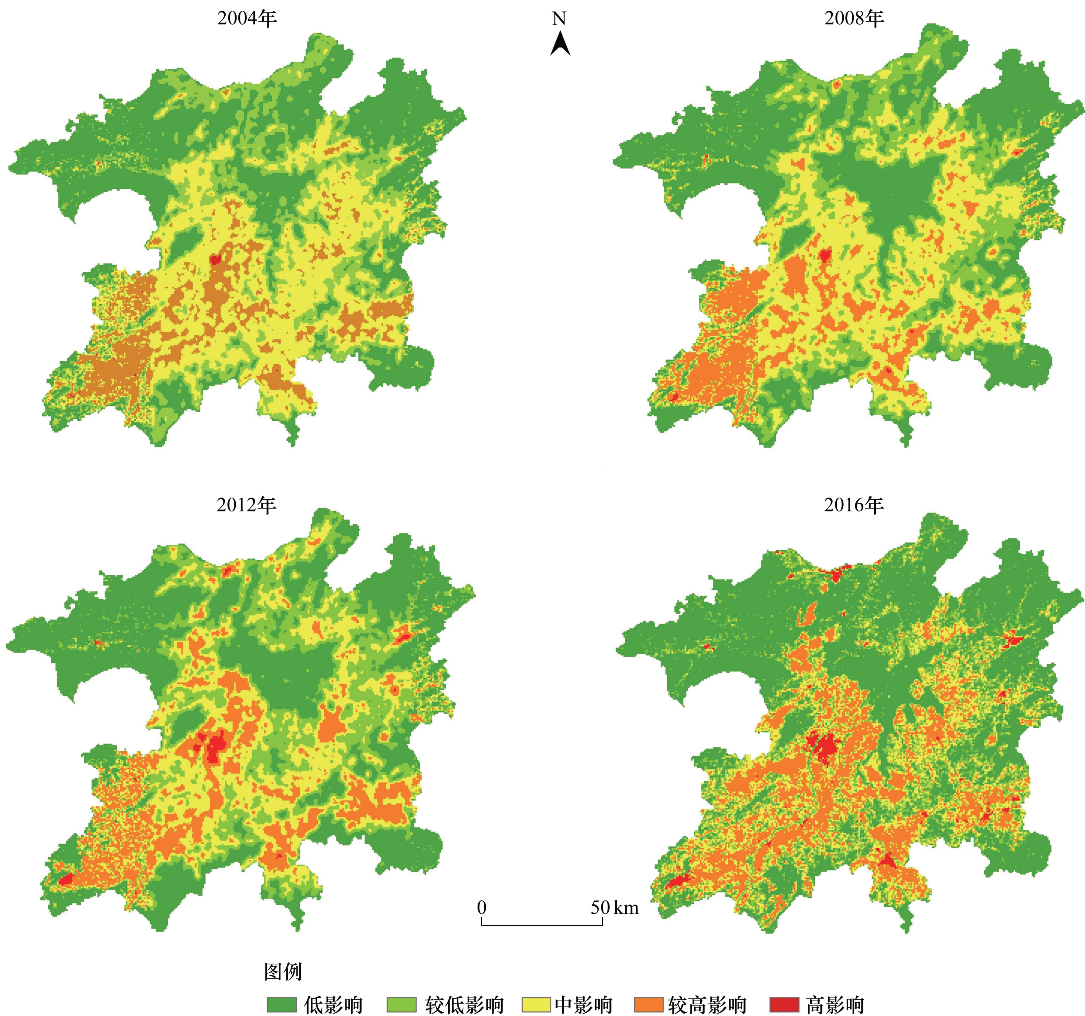


图 4　人为干扰综合强度分布图

Fig.4　The distribution of integrated intensity of human disturbance

由图 4 可知,鄱阳湖生态经济区人为综合干扰强度的空间分布特征主要表现为:北部以低影响和较低影响为主;环鄱阳湖区域以中影响强度为主;中部和南部方向以中影响强度和较高影响强度为主。从人为干扰

综合强度的空间变化来看,2004—2008 年,研究区内人为影响综合强度变化不大,中部-西南部方向,即南昌-新余方向有部分区域由中影响强度变为较高影响强度;2008—2012 年,高强度影响区域在 2008 年高影响区域基础上扩张明显,另中部-西南部较高影响强度区域扩张较为明显,呈带状发展,低影响强度区域变化不明显;2012—2016 年,高强度影响区域明显进一步扩张,中部、南部有较大区域由中影响强度变为较高影响强度,低影响强度区域变化不明显。总体来看,随着时间的推移,高影响强度和较高影响强度区域有所扩张,且高影响强度扩张区域和城镇建设扩张趋势有较强的空间一致性,主要分布在中部、南部和西南部,和鄱阳湖生态经济区的经济建设发展情况较为一致。结合土地利用/覆被分布(图 3)可知,低影响和较低影响强度区域主要在水域、草地和林地,较高影响和高影响区域为耕地和建设用地,中影响强度到较高影响强度变化主要表现在耕地-建设用地、草地-建设用地、林地-建设用地的转化区域,低影响强度向中影响强度则主要表现在草地-耕地区域。

3.2.2 社会经济因素驱动力

以研究区域各县市不同年份的人口、经济等因素的数据为基础,并对整理数据进行标准化处理[20],利用 OriginPro 9.1 软件分析了 2004—2014 年间研究区域总生态服务价值与社会经济因素等主要指标的变化关系。

(1)人口因素与总生态系统服务价值的关联度

研究区域人口密度、非农业人口数量及区域城镇化率随研究年份持续增加。相关分析结果表明(图 5),研究区域生态系统服务价值与人口密度、非农人口及城镇化率具有显著负相关性,说明人口的快速增加会导致生态系统价值的下降。这是因为,人口增长将导致食物、原材料等的需求增加,并增加废弃物排放数量,这些都会降低生态系统服务功能,造成总生态价值的减少;同时,城市人口的增长必然导致建设用地面积增加,需要流转其他类型的土地面积,建设用地生态系统服务价值相对较低,必然造成区域总生态系统服务价值的降低。但从近几年的统计资料和研究数据发现,鄱阳湖生态经济区人口密度增长速度有所放缓,从前期的 8.0‰下降为 6.9‰,因此生态系统服务价值下降幅度也有所减缓。

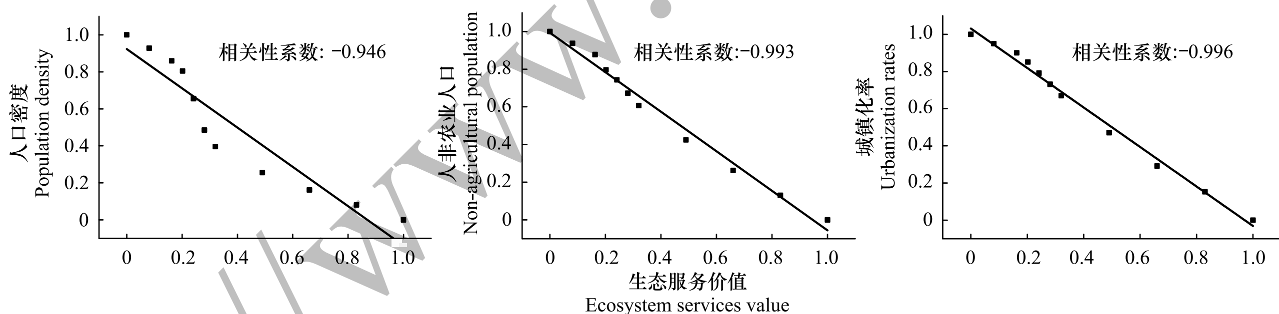


图 5 鄱阳湖生态经济区人口因素指标与区域总生态系统服务价值的关联度

Fig.5 The correlation between demographic factor and regional ESV in the Poyang Lake Eco-economic Zone

(2)经济因素与总生态系统服务价值的关联度

人类社会从生态系统中获得食物、原材料等会影响生态系统的直接服务价值,通过改变土地利用方式等则会影响生态系统的间接服务价值。因此,本研究选取与经济发展最为密切的总 GDP、第一、第二和第三产业 GDP,及固定资产投资额等指标与生态系统服务价值进行相关性分析(图 6)。总 GDP、第一产业 GDP、第二产业 GDP、第三产业 GDP 以及固定资产投资额与生态系统服务价值之间均存在显著负相关性,相关系数分别为−0.894、−0.914、−0.900、−0.869 和−0.895。第一产业 GDP 收入的增加主要来自于食物生产与原材料生产,食物与原材料的消耗都降低了生态系统的服务价值;而第二、三产业以及固定资产投资额等的增加,加快了城市工业化与商业化的发展,城市区域的扩张和城市人口的增长,驱使城镇建设用地面积增加并侵占其他系统用地,同时增加生态系统处理废弃物的压力,因此,这些社会经济因素的发展与生态系统均存在负相关性。上述驱动因素对生态系统总体服务价值的负面影响顺序为:城镇化率>非农业人口>人口密度>第一产业

GDP>第二产业 GDP>固定资产投资额>总 GDP>第三产业 GDP。

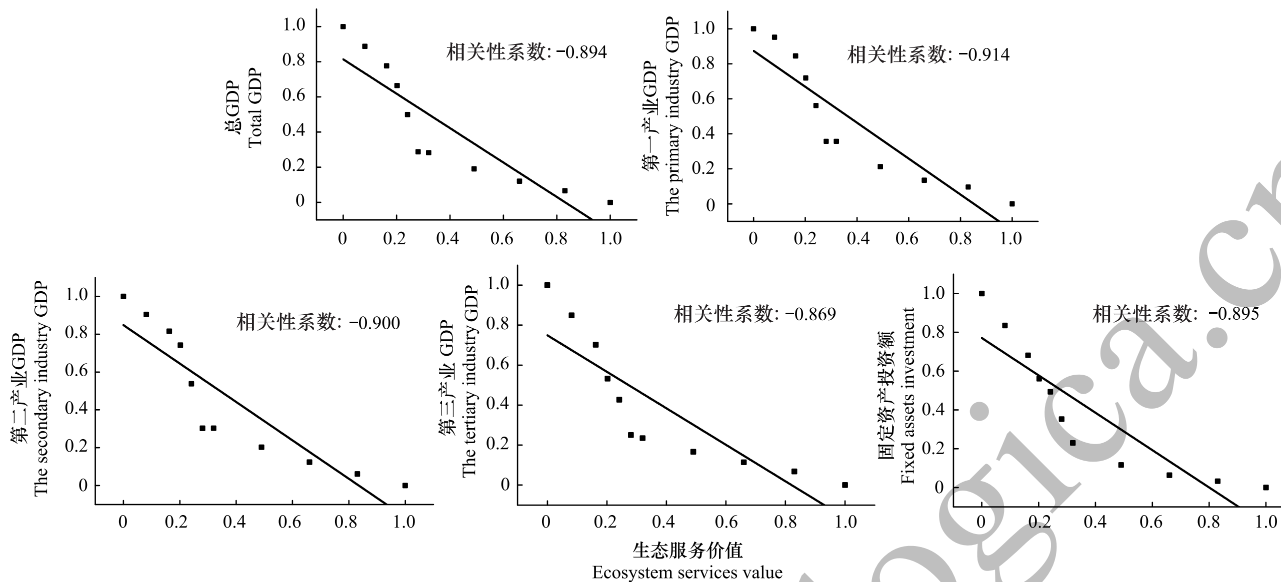


图 6　鄱阳湖生态经济区经济因素指标与区域总生态系统服务价值关联度

Fig.6　The correlation between economic factor and regional ESV in the Poyang Lake Eco-economic Zone

4　讨论与结论

近年来,在不同类型[21-25]或尺度区域[26-28]的生态系统服务价值评估研究方面取得了不少进展,但对价值评估的预测研究相对较少。价值评估多是利用已知的经验和知识建立关系,然后代入测量数据求得评估价值;而预测模型则是利用多次的评估值与相关因素值,找寻他们之间的规律,从而建立关系式。由于生态系统服务价值为评估值,而非测量值,因此在统计学上很难界定因变量与自变量;并且影响生态系统服务功能价值的因素众多,不易判断。因此往往需要选取适合的模型及其影响因素进行深入研究。本研究证实,以土地利用/覆被数据为基础,借助灰色 GM(1,1)模型可以在数据样本相对较少的情况下对区域生态服务价值评估进行有效预测。与 MARKOV(马尔柯夫)模型、CLUE-S 模型、元胞自动机等[29-32]模拟预测方法相比,灰色 GM(1,1)模型不需要土地利用结构的分布格局及土地利用类型的转移概率,计算便捷且预测精度较高,因此灰色 GM(1,1)模型可以对区域生态系统短期变化趋势做出预测[33]。

国内学者利用灰色 GM(1,1)模型对江苏省、贵州省、环京津、上海市及喀什市[13-14,34-36]等地区的生态服务价值进行了预测研究,除茆长宝和陈勇的研究结果认为[13],江苏省"预测 2020 年价值延续前期变化趋势,且单一变化率有扩大趋势"外,其他的研究都表明,所涉地区至 2020 年后生态系统服务价值降低程度将明显减缓,整体趋于平稳,部分区域还有小幅上升,其中林地和草地等系统的价值通常是持续上升。本研究也发现,鄱阳湖生态经济区生态系统服务价值在建设初期(2004—2016)降低,但预测年份(2016—2024)总价值下降幅度较小,整体趋于稳定;其中林地系统价值总量增加较大,但水源涵养和废物处理等生态服务功能有所降低。

生态系统的形成、发展是各种自然因素和人为活动共同作用的结果,因此人类活动及社会经济等对生态系统服务价值的改变有密切关系[37]。随着鄱阳湖生态经济区近年的建设发展,人为综合干扰强度有范围扩大和程度加强的趋势,且高影响强度区域与城镇化扩张存在一致性;城镇化的快速发展将侵占大量土地,给整个生态系统造成巨大影响,是区域生态服务价值降低的主要因素。但今后一段时间随着城镇化发展速度减缓,人口与城乡建设用地的增加达到控制指标,人们对于生态环境保护认识的深入,以及多种改善和保护生态环境措施的相继出台,如"江西省生态公益林补偿资金管理办法","江西省主体功能区规划"、"江西省流域生

态补偿办法(试行)”,“江西省生态文明先行示范区建设实施方案”等[38-41],鄱阳湖生态经济区系统服务价值或将出现平缓稳定状态,即减少的服务价值与增长的服务价值量保持基本平衡,因此驱动力分析与模型预测结果应该是较为吻合的。

本研究还证实,耕地与林地系统在鄱阳湖生态经济区所占面积与价值分属前两位,对维持鄱阳湖生态经济区系统服务价值稳定具有巨大的、不可替代的作用,水域系统在水源涵养与废物处理生态功能上有重要价值,而鄱阳湖生态经济区随着人口的增长,水源及废物处理方面的功能需求会持续增加。因此提高林地覆盖、保护耕地与水域面积对于鄱阳湖生态经济区的中期发展是十分重要的。

综上分析,本研究得到的主要结论如下:

(1)2004—2016 年期间鄱阳湖生态经济区土地利用/覆被格局变化明显,其中水域面积减少最显著,建设用地面积增加速度最快,区域生态系统服务功能与价值格局亦随之发生显著改变。对 2016—2024 年区域生态服务总价值的预测结果表明,总体保持相对平稳,林地系统生态服务价值明显增加,草地、耕地和水域系统生态服务价值明显下降。研究区域的气体调节、原材料生产、娱乐文化及气候调节服务功能处于增加趋势,而水源涵养、土壤保持、生物多样性保护、废物处理和食物生产服务功能均有所降低,需引起重视。

(2)从驱动因素分析来看,2004—2016 年期间人为干扰的空间与强度不断扩大和增强,整体而言,空间分布上以中等影响强度干扰为主,低影响和较低影响强度区域主要在水域和林地,较高影响和高影响区域为耕地和建设用地。社会经济因素方面,人口因素的影响大于经济因素,其中城镇化率是区域总生态系统服务价值降低的首要驱动力,其次分别为非农业人口、人口密度、第一产业 GDP、第二产业 GDP、固定资产投资额、总 GDP 及第三产业 GDP 等。因此,建议加强土地利用的规划与调控,控制城镇化建设用地的扩展,调整产业结构、降低污染,促进鄱阳湖生态经济区总生态系统服务价值的提升。

参考文献(References):

[1] 李文华. 生态系统服务功能价值评估的理论、方法与应用. 北京: 中国人民大学出版社, 2008.

[2] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 1997, 387(6630): 253-260.

[3] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究. 生态学报, 1999, 19(5): 607-613.

[4] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 郑度, 李双成. 青藏高原生态资产的价值评估. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196.

[5] 许妍, 高俊峰, 黄佳聪. 太湖湿地生态系统服务功能价值评估. 长江流域资源与环境, 2010, 19(6): 646-652.

[6] 李屹峰, 罗跃初, 刘纲, 欧阳志云, 郑华. 土地利用变化对生态系统服务功能的影响——以密云水库流域为例. 生态学报, 2013, 33(3): 726-736.

[7] 田甜, 韩春兰, 王英杰, 王秋兵. 沈阳市土地生态系统服务价值变化研究. 土壤通报, 2016, 47(3): 573-579.

[8] 肖翔, 李扬帆, 朱晓东. 基于土地利用驱动力的马尔科夫模型及其应用. 土壤, 2011, 43(5): 822-827.

[9] 国家发展改革委. 国家发展改革委关于印发鄱阳湖生态经济区规划的通知. 江西省人民政府公报, 2010(4): 5-26.

[10] 雷慧敏. 鄱阳湖生态经济区城镇化与区域生态风险耦合关系研究[D]. 南昌: 东华理工大学, 2016.

[11] 李登科, 郭铌, 何慧娟. 陕北长城沿线风沙区植被指数变化及其与气候的关系. 生态学报, 2007, 27(11): 4620-4629.

[12] 刘思峰. 灰色系统理论及其应用(第五版). 北京: 科学出版社, 2010.

[13] 茆长宝, 陈勇. 土地利用及其生态服务价值演变的驱动力与预测研究——以江苏省为例. 水土保持研究, 2010, 17(4): 269-275.

[14] 李正, 王军, 白中科, 郭义强, 余莉. 贵州省土地利用及其生态系统服务价值与灰色预测. 地理科学进展, 2012, 31(5): 577-583.

[15] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 肖玉, 陈操. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法. 自然资源学报, 2008, 23(5): 911-919.

[16] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 陈文辉, 李士美. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进. 自然资源学报, 2015, 30(8): 1243-1254.

[17] 赵志刚. 区域农业资源评价与设计. 北京: 科学技术文献出版社, 2015.

[18] 葛全胜, 赵名茶, 郑景云, 方修琦. 中国陆地表层系统分区初探. 地理学报, 2002, 57(5): 515-522.

[19] Yang Z P, Gao J X, Zhou C P, Shi P L, Zhao L, Shen W S, Ouyang H. Spatio-temporal changes of NDVI and its relation with climatic variables in the source regions of the Yangtze and Yellow rivers. Journal of Geographical Sciences, 2011, 21(6): 979-993.

[20] 赵志刚, 王凯荣, 谢小立. 江西省农业可持续发展的生态安全评价. 生态与农村环境学报, 2012, 28(3): 225-230.

[21] 段彦博, 雷雅凯, 吴宝军, 彭丹丹, 田国行. 郑州市绿地系统生态服务价值评价及动态研究. 生态科学, 2016, 35(2): 81-88.
[22] 殷莎, 赵永华, 韩磊, 王耀斌, 蔡健. 秦岭森林生态系统服务价值的时空演变. 应用生态学报, 2016, 27(12): 3777-3786.
[23] 崔丽娟, 庞丙亮, 李伟, 马牧源, 孙宝娣, 张亚琼. 扎龙湿地生态系统服务价值评价. 生态学报, 2016, 36(3): 828-836.
[24] 姜翠红, 李广泳, 程滔, 陈占涛, 张浩然. 青海湖流域生态服务价值时空格局变化及其影响因子研究. 资源科学, 2016, 38(8): 1572-1584.
[25] 岳东霞, 杜军, 巩杰, 降同昌, 张佳静, 郭建军, 熊友才. 民勤绿洲农田生态系统服务价值变化及其影响因子的回归分析. 生态学报, 2011, 31(9): 2567-2575.
[26] 吴海珍, 阿如旱, 郭田保, 孙紫英. 基于 RS 和 GIS 的内蒙古多伦县土地利用变化对生态服务价值的影响. 地理科学, 2011, 31(1): 110-116.
[27] 李涛, 甘德欣, 杨知建, 王宽, 齐增湘, 李晖, 陈希. 土地利用变化影响下洞庭湖地区生态系统服务价值的时空演变. 应用生态学报, 2016, 27(12): 3787-3796.
[28] 李超, 杜哲, 陈亚恒, 张利, 许皞. 环京津地区土地生态服务价值时空分异特征. 土壤通报, 2015, 46(1): 42-47.
[29] 周锐, 苏海龙, 王新军, 李月辉, 胡远满, 许博涵. 基于 CLUE-S 模型和 Markov 模型的城镇土地利用变化模拟预测——以江苏省常熟市辛庄镇为例. 资源科学, 2011, 33(12): 2262-2270.
[30] Verburg P H, Soepboer W, Veldkamp W, Limpiada R, Espaldon R, Mastura S S A. Modeling the spatial dynamics of regional land use: the CLUE-S model. Environmental Management, 2002, 30(3): 391-405.
[31] 戴声佩, 张勃. 基于 CLUE-S 模型的黑河中游土地利用情景模拟研究——以张掖市甘州区为例. 自然资源学报, 2013, 28(2): 336-348.
[32] 黎夏, 叶嘉安. 基于神经网络的元胞自动机及模拟复杂土地利用系统. 地理研究, 2005, 24(1): 19-27.
[33] 罗罡辉, 吴次芳. 建设用地需求预测方法研究. 中国土地科学, 2004, 18(6): 14-17.
[34] 李恒哲, 李超, 陈召亚, 郭年冬, 许皞, 王树涛. 基于分区的环京津土地生态服务价值及灰色预测. 水土保持研究, 2016, 23(1): 221-227.
[35] 王龙, 徐刚, 刘敏. 基于信息熵和 GM(1, 1)的上海市城市生态系统演化分析与灰色预测. 环境科学学报, 2016, 36(6): 2262-2271.
[36] 李钊, 安放舟, 张永福, 张景路. 喀什市生态系统服务价值对土地利用变化的响应及预测. 水土保持通报, 2015, 35(5): 274-278.
[37] 严恩萍, 林辉, 王广兴, 夏朝宗. 1990—2011 年三峡库区生态系统服务价值演变及驱动力. 生态学报, 2014, 34(20): 5962-5973.
[38] 江西省人民政府. 江西省生态公益林补偿资金管理办法. 江西省人民政府公报, 2009(16): 13-17.
[39] 江西省人民政府. 江西省人民政府关于印发江西省主体功能区规划的通知. 江西省人民政府公报, 2013(5): 4-34.
[40] 江西省人民政府. 江西省人民政府关于印发江西省流域生态补偿办法(试行)的通知. 江西省人民政府公报, 2015(19): 19-22.
[41] 国家正式批复《江西省生态文明先行示范区建设实施方案》. 江西日报, 2014-11-21(1) [2016-10-08]. http://epaper.jxnews.com.cn/jxrb/html/2014-11/21/content_275255.htm.